

Афінні перетворення найефективніше реалізовані засобами OCV Python. IPT MATLAB має перевагу тільки для переміщення (translate) та масштабування (scale) зображення без інтерполяції. Найшвидше всі бібліотеки виконують зменшення розміру зображення без інтерполяції, найдовше майже в 40 разів – поворот з інтерполяцією.

Найбільш проблемним перетворенням є збільшення зображення типу float64 з інтерполяцією. Час виконання зростає на чотири порядки, а в OCV Python виникають проблеми з розподіленням пам'яті.

Гомографія (perspective transform) найефективніше реалізована засобами OCV Python, які в півтора рази швидші за функції PIL. В IPT MATLAB перспективне перетворення вкрай повільне. Час більше ніж в 20 разів перевищує показники OCV Python, до чого, ймовірно, призводить занадто громіздка та надлишкова структура аргументів функції.

Єдиною перевагою бібліотеки SciPy можна назвати наявність функцій для всіх афінних перетворень для всіх типів даних. З огляду на часові витрати використання бібліотеки є невиправданим. Часові витрати в ній більше ніж на порядок вищі ніж в інших бібліотеках.

Ключові слова: affine transform, perspective transform, Open CV, Pillow, Python, MATLAB.

УДК 623.4.052.5

КОМПЕНСАЦІЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЯКІСТЬ РОБОТИ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ

Кучеренко О.К.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: oleg.k.kucherenko@gmail.com

Телевізійні системи наведення (ТСН) широко використовуються в робото-технічних комплексах та безпілотних літаючих апаратах [1-3]. Оскільки ТСН є приладами спеціального призначення, до них пред'являються жорсткі вимоги щодо робочого діапазону температур, який може становити ± 50 °C. У цьому зв'язку є необхідність проаналізувати, як зберігається якість зображення у вказаному діапазоні температур і, при необхідності, удосконалити конструкцію прицілів шляхом введення елементів, що компенсують температурний вплив. Причиною погіршення якості зображення в даному випадку є поздовжні зміщення площини зображення щодо чутливої площини фотоприймальної матриці, які виникають внаслідок зміни конструктивних параметрів оптико-механічної системи (ОМС) під дією температури.

Розглянемо ОМС, яка будує зображення на фотоприймальній матриці (Рис.1).

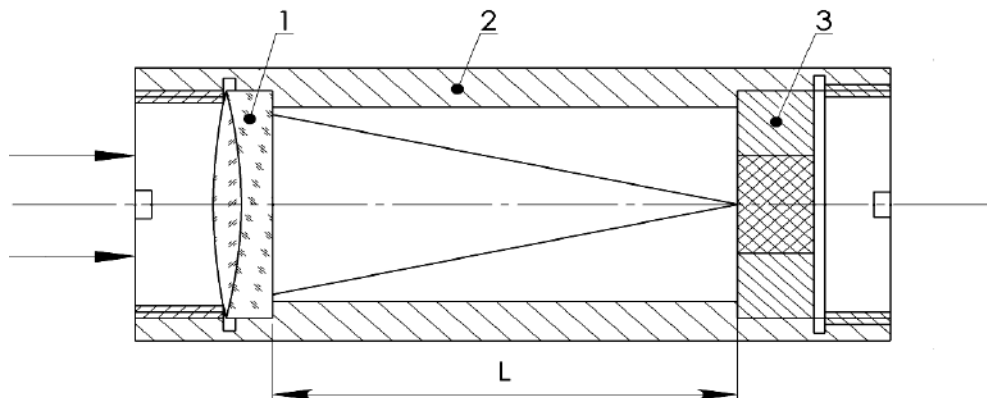


Рис. 1. Оптико-механічна система побудови зображення на фотоприймальній матриці: 1—об'єктив; 2—корпус системи; 3—вузол фотоприймальної матриці

На рис. 1 об'єктив 1 складається з двох склеєних лінз закріплених в корпусі 2, в якому встановлений вузол фотоприймальної матриці 3.

Корпусні деталі ОМС можуть бути виготовлені з алюмінієвого сплаву, або сталі. Лінійні температурні коефіцієнти розширення (ЛТКР) в температурному діапазоні $\Delta T = \pm 50^\circ\text{C}$ алюмінієвого сплаву складає $\alpha = 23 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, а для сталі відповідно $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [4,5].

У видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні для виготовлення оптичної системи використовуються такі матеріали як крон і флінт. Температурні властивості цих матеріалів на довжині хвилі $\lambda = 0.5 \text{ мкм}$ такі [6,7].

Для крона:

— середнє значення ЛТКР $\alpha \approx 7.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; середнє значення показника заломлення $n_{кр} = 1.52$; середнє значення зміни показника заломлення в залежності від температури $\beta = dn/dT \approx 2.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Для флінта:

— середнє значення ЛТКР $\alpha \approx 7.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; середнє значення показника заломлення $n_{фл} = 1.6$; середнє значення зміни показника заломлення в залежності від температури $\beta = dn/dT \approx 4.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Зміна температури ОМС призводить до наступних наслідків:

- зміна радіусів кривизни оптичних поверхонь;
- зміна довжин осьових відрізків оптичних деталей;
- зміна показників заломлення оптичних матеріалів;
- зміна лінійних розмірів оправ та корпусу.

Це призводить до розфокусування оптичної системи і погіршення якості зображення. Для тонкої лінзи залежність відхилення фокусу від зміни

температури може бути отримана на основі аналізу спрощеної формули для оптичної сили Φ такої лінзи [8]:

$$\Phi = \frac{1}{f'} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \quad (1)$$

де: n – показник заломлення; r_1, r_2 – радіуси кривизни лінзи.

Візьмемо похідну від співвідношення (1) по зміні температури, тоді отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta f'_{\Delta t} &= -f'^2 \Delta \Phi_{\Delta t} = -f'^2 \left[\frac{\Delta n_{\Delta t} (n-1)}{(n-1)} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - (n-1) \left(\frac{\Delta r_{1\Delta t}}{r_1^2} - \frac{\Delta r_{2\Delta t}}{r_2^2} \right) \right] = \\ &= -f'^2 \Phi \Delta t \left(\frac{\beta_{\lambda}}{(n-1)} - \alpha \right). \end{aligned} \quad (2)$$

У (2) $\Delta r_{1,2\Delta t} = r_{1,2} \alpha \Delta t$, де α – лінійний температурний коефіцієнт розширення матеріалу лінзи; β_{λ} – коефіцієнт зміни показника заломлення при зміні температури для довжини хвилі λ . Останній вираз в рівнянні (2) в дужках визначає термооптичну сталу лінзи V_t .

Підставивши V_t у вираз (2) отримаємо:

$$\Delta f'_{\Delta t} = -f'^2 \Phi V_t \Delta t = -f' V_t \Delta t. \quad (3)$$

Співвідношення (3) показує як залежить відхилення фокусної відстані лінзи від коливань температури. V_t – довідкова величина і наводиться як одна з характеристик оптичного скла. Для склеєного об'єктиву, відхилення фокусної відстані при зміні температури визначається рівнянням [8]:

$$\Delta f'_{\text{скл}\Delta t} = -f'^2_{\text{скл}} (\Phi_1 V_{1_t} + \Phi_2 V_{2_t}) \Delta t,$$

де: Φ_1 і Φ_2 – оптичні сили першого і другого елементів склеювання.

Для того що б компенсувати відхилення фокусної відстані при коливаннях температури в автоматичному режимі можна використати термокомпенсатор, який складається з двох кілець з α близьким до α скла. Як матеріал кілець застосовують сталь, титан, інвар, алюміній, латунь. Для визначення лінійних розмірів кілець використовується умова відсутності розфокусування при зміні температури.

На рис. 2 показаний термокомпенсатор розфокусування. У конструкцію входить об'єктив 1, два циліндрові кільця 2 і 4, встановлені між об'єктивом і вузлом фотоприймальної матриці 5, корпус 3, пружинне кільце 6.

Для компенсації терморозфокусувань об'єктива варто використати проміжні кільця (поз. 2,4 на рис.2), що виконані з сталі та інвару, лінійні температурні коефіцієнти розширення яких дорівнюють [4,5]:

$$\alpha_{\text{ст}} = 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}; \quad \alpha_{\text{ин}} = 1,6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}. \quad (4)$$

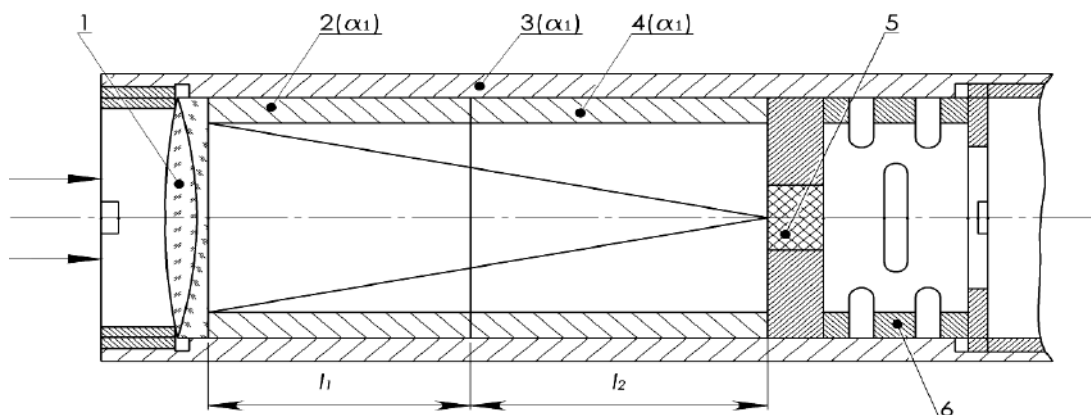


Рис. 2. Термокомпенсатор розфокусування

З врахуванням формули (2) і приведених вище вихідних даних для крона і флінта термооптичні сталі цих матеріалів такі:

$$V_{\text{ткр}} = 2.2 \times 10^{-6} K^{-1}; V_{\text{тфл}} = 8.3 \times 10^{-6} K^{-1}. \quad (5)$$

Умова відсутності розфокусування має вигляд:

$$\Delta f'_{\text{скл} \Delta t} = \Delta l_{1 \Delta t} + \Delta l_{2 \Delta t},$$

$$\text{де: } \Delta l_{1,2 \Delta t} = \alpha_{1,2} \times l_{1,2} \times \Delta t$$

Тоді отримаємо:

$$-\Delta f'^2_{\text{скл} \Delta t} (\Phi_1 V_{\text{ткр}} + \Phi_2 V_{\text{тфл}}) = \alpha_1 \times l_1 + \alpha_2 \times l_2. \quad (6)$$

Оскільки $l_1 + l_2 = f'_{\text{скл}}$ то, вибравши матеріал і з якого виготовлятимуться кільця термокомпенсатора, можна вирішити рівняння (6) відносно невідомих l_1 і l_2 :

$$l_1 = \frac{[-\Delta f'^2_{\text{скл} \Delta t} (\Phi_1 V_{\text{ткр}} + \Phi_2 V_{\text{тфл}}) - f'_{\text{скл}} \cdot \alpha_2]}{\alpha_1 - \alpha_2} \quad (7)$$

$$l_2 = f'_{\text{скл}} - l_1$$

Для прикладу візьмемо характеристики типового об'єктива з фокусною відстанню 100 мм, оптичними силами компонентів $\Phi_1 = 0.02 \text{ мм}^{-1}$, $\Phi_2 = -0.03 \text{ мм}^{-1}$. Скористаємося значеннями термооптичних сталих стекел приведеними в (5) та значеннями ЛТКР матеріалів кілець термокомпенсатора приведеними в (4). Тоді з формул (7) отримаємо: $l_1 = 32.3 \text{ мм}$; $l_2 = 67.7 \text{ мм}$.

Висновок

Одна з можливостей компенсації температурних впливів на якість роботи телевізійної системи наведення використання термокомпенсатора. Конструктивно такий термокомпенсатор може містити два кільця з матеріалів, що мають різні значення лінійних температурних коефіцієнтів розширювання. В подальшому

будуть розглянуті питання компенсації температурних впливів для телевізійних систем наведення з більш складними схемами об'єктів.

Ключові слова: телевізійні системи наведення, температурні впливи, розрахунок термокомпенсаторів.

Література

- [1] Opticoelectron. Presentation 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.opticoel.com/wp-content/uploads/2019/10/Opticoelectron-2019-Presentation V3.pdf>.
- [2] М. В. Сенаторов, А. С. Довгополий, А. В. Гурнович та ін. «Холодне» пристрілювання оптичних прицілів бойових роботизованих комплексів. *Озброєння та військова техніка: Науково-технічний журнал*, Київ: ЦНДІ ОБТЗСУ, № 3(19), С. 47-51, 2018.
- [3] Кучеренко О. К. Проєктування оптико-механічної системи «холодного» пристрілювання. Вісник «КПІ». Серія «Приладобудування», Вип.69(1). С. 11-17. 2025р. DOI: 10.20535/1970.69(1).2025.331794
- [4] The linear coefficient of thermal expansion of the aluminum alloy was measured by thermomechanical analysis (TMA) in accordance with ISO 11359.
- [5] ISO 11359-1:2014. *Plastics — Thermomechanical analysis (TMA)*. ISO.
- [6] The coefficient of thermal expansion was determined by dilatometry (ISO 11359 / ASTM E228).
- [7] The temperature dependence of refractive index (dn/dT) was taken from the manufacturer's data (Schott optical glass catalog).
- [8] Кучеренко О. К. *Розрахунок і конструювання оптичних приладів. Частина 2. «Габаритні розрахунки і конструювання оптичних вузлів і приладів»* [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані системи та технології». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 194 с.

UDC 004.93

YOLO AI MODELS TRAINING FOR OBJECT DETECTION IMPROVEMENT

M.S. Mamuta¹⁾, I.V. Kravchenko¹⁾, O.D. Mamuta²⁾

*¹⁾National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine; ²⁾Institute of Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
E-mail: rybalkomaryna@gmail.com; kravchenko.igor@iit.kpi.ua; mamuta.aleksandr@gmail*

Object detection is a groundwork for object recognition and plays crucial role for efficiency of computer vision based automated and unmanned systems. YOLO (You Only Look Once) model is one of the most used AI models for utilizing this task. It need to be trained before applying. For this purpose transfer learning is used. One promising technique during transfer learning is layers freezing.

Modern versions of the YOLO series such as YOLOv11 and YOLO26 training methods were discovered.

YOLO26 has many improvements:

- replacement of C2f block with C3k2 and adding C2PSA block after SPPF;